



Correcting tolerances of sensor wheel used in angular velocity measurement of shaft in internal combustion engine

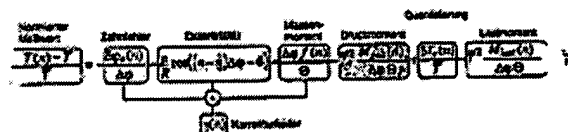
Patent number: DE19540674
Publication date: 1997-05-07
Inventor: HENN MICHAEL (DE); ANGERMAIER ANTON (DE)
Applicant: SIEMENS AG (DE)
Classification:
 - international: F02D41/00; G01P3/481; G01M15/00
 - european: F02D41/34B4, G01P3/481, G01M15/00B, G01P3/489, G01P21/02
Application number: DE19951040674 19951031
Priority number(s): DE19951040674 19951031

Also published as:

 US5789658 (A1)
 FR2740509 (A1)

Abstract of DE19540674

The sensor wheel (1) tolerance correction involves measuring the segment times for each sensor wheel tooth (Z) from which are normalised on the mean tooth time period. The rpm speed region of the IC engine shaft is then calculated. An adaptation factor is evaluated for each tooth in each rpm speed region, which is corrected by the normalised tooth period. A correction factor for each tooth or wheel segment can thus be calculated, to correct the tooth time period.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY

THIS PAGE BLANK (USPTO)



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift

10 DE 195 40 674 A 1

51 Int. Cl. 8:
F 02 D 41/00
G 01 P 3/481
G 01 M 15/00

21 Aktenzeichen: 195 40 674.5
22 Anmeldetag: 31. 10. 95
43 Offenlegungstag: 7. 5. 97

DE 195 40 674 A 1

71 Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

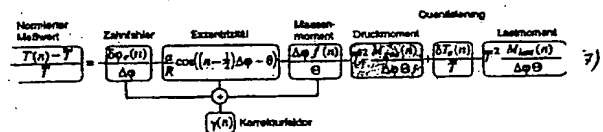
72 Erfinder:
Angermaier, Anton, 74172 Neckarsulm, DE; Henn,
Michael, 74842 Billigheim, DE

56 Entgegenhaltungen:
DE 44 08 608 A1
DE 41 33 679 A1
EP 05 83 495 A1

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

64 Adaptionsverfahren zur Korrektur von Toleranzen eines Geberrades

57 Bestimmung eines Korrekturfaktors für jeden einzelnen Zahn oder jedes Segment des Geberrades bei der Messung der Winkelgeschwindigkeit, der sowohl Herstellungstoleranzen, Exemplarstreuungen als auch unzentrische Lagerung des Geberrades auf der Welle berücksichtigt. Außerdem gleicht der Korrekturfaktor das von Kolben und Pleuel verursachte Massenmoment aus. In einem Adaptionsalgorithmus wird die periodische Störung durch das von den sich ändernden Zylinderdrücken verursachte Gasmoment und das von der Straße rückwirkende Moment berücksichtigt.



DE 195 40 674 A 1

Die Erfindung betrifft ein Adaptionsverfahren zur Korrektur von Toleranzen eines Geberrades gemäß Oberbegriff von Patentanspruch 1.

5 Zur Erfassung der Stellung einer Welle, beispielsweise der Kurbelwelle oder der Nockenwelle einer Brennkraftmaschine ist es bekannt, auf dieser Welle eine Geberscheibe oder ein Geberrad mit Markierungen, z. B. Zähnen vorzusehen, die mittels eines feststehenden Aufnehmers abgetastet werden. Dabei werden in dem Aufnehmer, beispielsweise einem induktiven Aufnehmer von den vorbei laufenden Markierungen Spannungsimpulse induziert und in einer nachfolgenden Auswerteschaltung wird aus den zeitlichen Abständen dieser Spannungsimpulse die Drehzahl oder die Winkelgeschwindigkeit der Welle ermittelt.

10 Die Winkelgeschwindigkeit der Kurbelwelle oder einer mit ihr verbundenen Welle einer Brennkraftmaschine kann beispielsweise zur Detektion von Verbrennungsaussetzern herangezogen werden. Verbrennungsaussetzer einzelner oder mehrerer Zylinder führen zu einer Verlangsamung der Winkelgeschwindigkeit der Kurbelwelle. Da der Meßeffekt, insbesondere bei höheren Drehzahlen sehr gering ist – der Drehzahlverlust bei einem Verbrennungsaussetzer kann im Extremfall nur 0,2% betragen –, muß die Winkelgeschwindigkeit sehr genau gemessen werden. Toleranzen und Exemplarstreuungen bei der Fertigung bzw. bei der Anbringung des Geberrades auf der Kurbelwelle führen zu Ungenauigkeiten bei der Messung der Winkelgeschwindigkeit und damit zu Fehldetektionen bei der Verbrennungsaussetzererkennung.

15 Aus der EP 0 583 495 A1 ist ein Verfahren zur Erkennung und Korrektur von Fehlern bei der Zeitmessung an sich drehenden Wellen, insbesondere an Kurbelwellen oder damit verbundenen Wellen bekannt. Dabei werden Segmentzeiten gemessen, die die Welle benötigt, um sich eine definierte Winkelspanne, einem sogenannten Segment, zu drehen und anschließend diese Zeiten mit einer für ein Bezugssegment geltenden Zeit verglichen. In Abhängigkeit von der Zeitdifferenz wird entweder ein Korrekturwert ermittelt, der zylinderindividuell oder segmentindividuell eine Korrektur der gemessenen Segmentzeit ermöglicht. Um ungewollte Einflüsse bei der Fehlererkennung und Fehlerkorrektur, die durch Zündung und Verbrennungsaussetzer bedingt sind auszu-schließen, werden die Messungen während des Betriebszustandes der Schubabschaltung durchgeführt.

20 In der DE 41 33 679 A1 ist ein Verfahren zur Adaption von mechanischen Toleranzen eines Geberrades beschrieben, mit dessen Hilfe die bei der Herstellung eines solchen Geberrades auftretenden Ungenauigkeiten der einzelnen Segmente auf elektronischem Weg korrigiert werden. Dazu werden im erkannten Schubbetrieb der Brennkraftmaschine, wenn also keine Drehzahlschwankungen auftreten, die Zeitdauer der Abstände zwischen zwei Segmentflanken gleicher Polarität gemessen und die so erhaltenen Werte abgespeichert. Diese Werte (Zeitintervalle) sind ein Maß für die unterschiedlichen Segmentlängen und werden bei den im Normalbetrieb der Brennkraftmaschine ablaufenden Berechnungen zur exakten Drehzahlermittlung berücksichtigt. Hierzu wird das zweite und die folgenden Zeitintervalle zum ersten Zeitintervall in Bezug gesetzt und die Abweichungen voneinander gefiltert und die gefilterten Meßwerte als Adaptionswerte verwendet.

25 Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren anzugeben, das gegenüber dem bekannten Stand der Technik eine noch genauere Korrektur der mittels eines Geberrades und eines zugehörigen Aufnehmers gemessenen Winkelgeschwindigkeit einer Welle ermöglicht.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst.

30 Durch Bestimmen eines Korrekturfaktors für jeden einzelnen Zahn oder eines Segmentes des Geberrades während des Betriebes der Brennkraftmaschine und Adaption dieser Korrekturwerte z. B. während des Schubbetriebes mit abgeschalteter Einspritzung zu den Zylindern werden hochgenaue Werte für die Winkelgeschwindigkeit erhalten, die beispielsweise zur Detektion von Verbrennungsaussetzern oder zur Bestimmung des Drehmomentes sinnvoll genutzt werden können. Der Korrekturfaktor berücksichtigt den Einfluß der Herstellungstoleranzen und Exemplarstreuungen des Geberrades, insbesondere seiner Zähne ebenso wie eine unzentrische Montage auf der hinsichtlich seiner Drehzahl zu untersuchenden Welle. Außerdem gleicht der Korrekturfaktor des vom Kolben und dem Pleuel verursachte Massenmoment aus im Adaptionsalgorithmus wird die periodische Störung durch das von den sich ändernden Zylinderdrücken verursachte Gasmoment und das von der Straße rückwirkende Moment berücksichtigt.

35 Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

Das Verfahren wird im folgenden anhand der Zeichnungsfiguren näher beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung des Meßprinzips für die Winkelgeschwindigkeit,

Fig. 2 eine Darstellung zur Erläuterung der Zahnradgeometrie bei unzentrischer Lagerung des Geberrades,

Fig. 3 eine Darstellung der Winkelfehler durch Fertigungstoleranzen,

55 Fig. 4 ein Blockschaltbild, das die Störanteile bei der Messung der Winkelgeschwindigkeit zeigt,

Fig. 5 ein Flußdiagramm gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel zur Korrektur der Toleranzen des Geberrades,

Fig. 6 ein Adaptionskennfeld,

60 Fig. 7 ein Flußdiagramm gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel zur Korrektur der Toleranzen des Geberrades

Fig. 8 ein Diagramm für die Korrekturwerte für die einzelnen Zähne des Geberrades.

In Fig. 1 ist mit dem Bezugszeichen 1 ein ferromagnetische Zähne aufweisendes Geberzahnrad mit Winkelincrementen der Breite $\Delta\varphi$ bezeichnet, das auf einer Kurbelwelle 2 montiert ist. Von einem magnetischen Aufnehmer 3, z. B. einem Hall-Sensor oder einem induktiven Sensor wird während der Drehbewegung der Kurbelwelle 2 ein Spannungssignal erzeugt, das mit dem Abstand der Zahnradstirnfläche schwankt. Das Zahnrad bildet somit den Modulator zur Umformung der amplitudenanalogen Eingangsgröße Winkelgeschwindigkeit in ein frequenzanaloges Signal. Die Nulldurchgänge dieses Signals enthalten ebenfalls die Information über den momentanen Winkel. Durch die Abfolge der Zahnücken und der ferromagnetischen Zähne des Geberzahn-

rads 1 ändert sich das Magnetfeld, das von einem Permanentmagneten im Sensor 3 stammt.
Ein Zahnrad mit Z Zähnen und Radius R wird üblicherweise durch sein Modul

$$m = \frac{2R}{Z}$$

5

gekennzeichnet. Für eine ausreichend starke Magnetfeldänderung zur Signalgewinnung sind bei den magnetischen Sensoren nur Module innerhalb gewisser Grenzen zulässig. Das bedeutet bei vorgegebenem Radius R eine Beschränkung der maximalen Anzahl Z der Zähne und damit der maximalen Winkelauflösung. Ein Winkelinkrement ist gleich

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{Z}$$

15

Aus dem vom Sensor 3 gelieferten Signal erzeugt ein Diskriminator 4, der z. B. aus einem Schmitt-Trigger und einem Flankendetektor bestehen kann, ein Rechtecksignal, das durch den Abstand zwischen zwei Flanken T(n) (Periodendauer) gekennzeichnet ist. Die Quantisierung dieses Signals erfolgt mit Hilfe eines Zählers 5 und einer Referenzfrequenz 6. Der so erhaltene Zählerstand ist mit

20

$$ZS = \frac{\Delta\varphi}{T(n)}$$

25

ein Maß für die Winkelgeschwindigkeit ω . Durch Aussparen von einem oder mehreren Zähnen auf dem Geberzahnrad 1 erhält man einen Bereich 7 für eine Winkelreferenz, mit deren Hilfe der Absolutwinkel bestimmt werden kann. Als Standard bei Impulsgebern auf der Kurbelwelle von Brennkraftmaschinen haben sich 60 Zähne minus einer Lücke von 2 Zähnen durchgesetzt.

30

Unter der Annahme einer starren Kurbelwelle gilt folgende Massenbilanz an der Kurbelwelle

$$\Theta \cdot \ddot{\omega} = M_{\text{gas}} - M_{\text{mass}} - M_{\text{last}} \quad (1)$$

35

Dabei ist mit Θ die Massenträgheit der Kurbelwelle, $\ddot{\omega}$ die Winkelbeschleunigung, M_{gas} das von den sich ändernden Zylinderdrücken verursachte Gasmoment, oft auch als Druckmoment bezeichnet, M_{mass} das von den oszillierenden Massen von Kolben und Pleuel verursachte Massenmoment und M_{last} das von der Straße rückwirkende Lastmoment.

40

In das Massenmoment M_{mass} geht eine winkelabhängige, periodische Funktion $f(\varphi)$ ein, die die Form bestimmt und die momentane Winkelgeschwindigkeit ω , welche die Amplitude bestimmt:

$$M_{\text{mass}} = f(\varphi) \omega^2 \quad (2)$$

45

$f(\varphi)$ ist durch die Konstruktionsdaten der Brennkraftmaschine festgelegt. Das Massenmoment M_{mass} enthält keine Informationen über den Betriebszustand der Brennkraftmaschine, d. h. keine Information ob eine Verbrennung stattgefunden hat oder nicht und ist in diesem Fall eine Störung, während das Gasmoment M_{gas} eine Aussage über den Verbrennungsvorgang erlaubt.

Wird das Geberzahnrad 1 beim Aufbringen auf die Kurbelwelle 2 nicht genau zentrisch justiert, kommt es zur Überlagerung von Schwankungen mit der Periode einer Umdrehung in der gemessenen Geschwindigkeit. Der Sensor 3 mißt die Tangentialgeschwindigkeit $v(\varphi)$, mit der die Zähne Z des Geberzahnrades 1 vorbeistreichen und nicht die Winkelgeschwindigkeit $\omega(\varphi)$.

50

Die Geschwindigkeit am Sensorort ist gegeben durch $v(\varphi) = r(\varphi)\omega(\varphi)$.

Fig. 2 zeigt die geometrischen Verhältnisse bei unzentrischer Lagerung des Geberzahnrades 1 auf der Kurbelwelle 2.

55

Bei der idealen Lagerung und damit bei der idealen Messung stimmt der geometrische Mittelpunkt M des Geberzahnrades 1 mit der Rotationsachse M' überein. Damit ist der Radius $r(\varphi) = R$ konstant und der zeitliche Verlauf der Tangentialgeschwindigkeit $v(\varphi)$ vor dem Sensor 3 entspricht dem Verlauf der Winkelgeschwindigkeit $\omega(\varphi)$ bis auf den Faktor R. Sind der geometrische Mittelpunkt M und die Rotationsachse M' gegeneinander versetzt, ändert sich der Radius $r(\varphi)$. Für einen kleinen relativen Versatz

60

$$q = \frac{a}{R}$$

65

der Achsen, wobei mit a der Achsenversatz zwischen dem Mittelpunkt M und der Rotationsachse M' bezeichnet ist, kann die Winkelabhängigkeit des Radius durch

$$r(\varphi) = R(1 + q \cos(\varphi - \Theta)) \quad (3)$$

angenähert werden. Dadurch ergibt sich eine periodische Fehlerkomponente in der gemessenen Winkelgeschwindigkeit aufgrund der unzentrischen Lagerung zu

$$\omega_{uz}(\varphi) = \omega q \cos(\varphi - \Theta) \quad (4)$$

Eine weitere Fehlerquelle des Geberzahnrad bei der Messung der Winkelgeschwindigkeit stellen Fertigungstoleranzen der Zähne des Geberrades dar. Die Winkelteilung des Zahnrad ist dadurch nicht exakt und die tatsächliche Schrittweite $\Delta\varphi_z(n)$ eines Winkelinkrements ist nicht konstant $\Delta\varphi$.

Aus Fig. 3 entnimmt man für das tatsächliche Winkelinkrement

$$\Delta\varphi_z(n) = \Delta\varphi + \delta\varphi_z(n) = \Delta\varphi + \delta\varphi(n) - \delta\varphi(n-1), \quad (4a)$$

wobei mit $\Delta\varphi$ der Absolutwinkel und mit $\delta\varphi_z(n)$ der Winkelfehler aufgrund der Fertigungstoleranzen des Geberrades bezeichnet sind. Der Winkelfehler wiederholt sich nach einer Umdrehung, d. h. $\delta\varphi(n+Z) = \delta\varphi(n)$.

Die Fluktuationen in der Winkelgeschwindigkeit werden durch Momentenschwankungen, d. h. durch die auf die Kurbelwelle einwirkenden Momente und die Fehler bei der Messung der Winkelgeschwindigkeit verursacht. Sie lassen sich alle in einer Kleinsignalnäherung auf Schwankungen in der gemessenen Zeitdauer $T(n)$ zwischen zwei Zähnen bzw. Segmenten umrechnen:

$$T(n) = \bar{T} + \delta T_e(n) - \bar{T} \frac{\delta\varphi_e(n)}{\Delta\varphi} - \bar{T} q \cos((n - \frac{1}{2})\Delta\varphi - \Theta) - \bar{T} \frac{\Delta\varphi f(n)}{\Theta} - \bar{T}^3 \frac{M_{ges}(n)}{\Delta\varphi \Theta} - \bar{T}^3 \frac{M_{last}(n)}{\Delta\varphi \Theta} \quad (5)$$

wobei in dieser Formel zusätzlich mit $\delta T_e(n)$ der stochastische Quantisierungsfehler durch die begrenzte Auflösung des Referenztaktes für den Zähler mit aufgeführt ist. Die mittlere Zeitdauer \bar{T} kann beispielsweise über eine Umdrehung berechnet werden, d. h. als die Zeit bis wieder der selbe Zahn des Geberzahnrad am Sensor vorbeistreicht. Bei Z Zähnen bzw. Segmenten ergibt sich diese Zeit zu

$$\bar{T} = \frac{1}{Z} \sum_{n=\frac{Z}{2}}^{n=\frac{Z}{2}+Z-1} T(n). \quad (6)$$

Ziel der Adaptionsphase ist es nun, alle periodisch wiederkehrenden Störanteile für einen bestimmten Zahn bzw. für ein bestimmtes Segment zu bestimmen. Formt man die Gleichung (5) um, indem vom aktuellen Wert $T(n)$ der Mittelwert \bar{T} subtrahiert und auf den Mittelwert \bar{T} normiert wird, kann man den Zahnfehler, den Fehler durch unzentrische Lagerung und das Massenmoment zu einem Korrekturfaktor $\gamma(n)$ zusammenfassen. Dieser Faktor ist für den jeweiligen Zahn bzw. das jeweilige Segment konstant und kann zur Korrektur der Winkelgeschwindigkeit herangezogen werden.

In der Fig. 4 ist dieser Zusammenhang in schematischer Weise graphisch dargestellt (Gleichung 7).

Der Quantisierungsfehler und das Lastmoment sind nicht periodisch über eine Umdrehung. Ihr Beitrag zu einem bestimmten Zahn ist eine stochastische Störung und kann über einen Mittelungsprozeß unterdrückt werden. Das Druckmoment hingegen ist bei abgeschalteter Zündung der Brennkraftmaschine ebenfalls periodisch. Außerdem ist es vom Betriebspunkt der Brennkraftmaschine abhängig. Bei geschlossener Drosselklappe ist der Verlauf des Gasmomentes (Druckmomentes) $M_{gas}(n)$ weitestgehend unabhängig von der Drehzahl, in die Schwankungen der Zahnzeiten geht es aber gewichtet mit dem Faktor \bar{T}^2 ein.

Die in Fig. 4 graphisch dargestellte Gleichung läßt sich somit umformen zu

$$\frac{T(n) - \bar{T}}{\bar{T}} = -\gamma(n) - \frac{\bar{T}^2}{\Delta\varphi \Theta} - M_{ges}(n) + e(n) \quad \text{mit} \quad e(n) = \frac{\delta T_e(n)}{\bar{T}} - \bar{T}^2 \frac{M_{last}(n)}{\Delta\varphi \Theta} \quad (8)$$

Diese Abhängigkeit der verschiedenen Einflußgrößen vom Arbeitspunkt wird im folgenden dazu ausgenutzt, den gewünschten Korrekturfaktor $\gamma(n)$ eines Zahnes von dem Anteil des Druckmomentes zu trennen.

Anhand des Ablaufdiagrammes nach Fig. 5 wird die Ermittlung des Korrekturfaktors näher erläutert. Das Verfahren wird immer dann aufgerufen, wenn sich die Brennkraftmaschine im Schleppantrieb bei abgeschalteter Einspritzung befindet und die Drosselklappe geschlossen ist. Ein solcher Betriebszustand ist beim Schubschalten gegeben. In einem ersten Schritt S1 wird der aktuelle Zahn- bzw. Segmentzeitwert $T(n)$ und der entsprechende Index j (entspricht einem Absolutwinkel) übergeben. Anschließend wird nach Gleichung (6) die mittlere Zahnzeit \bar{T} berechnet und in Schritt S3 eine Normierung des aktuellen Zahnzeitwertes $T(n)$ nach der Gleichung

$$T_{\text{norm}}(n) = -\frac{T(n) - \bar{T}}{\bar{T}} \quad (9)$$

durchgeführt.

Im Schritt S4 wird bestimmt, in welchem Drehzahlbereich \bar{T}_i sich die Brennkraftmaschine gerade befindet. Dies ist notwendig, da in den verschiedenen Drehzahlbereichen unterschiedliche Fluktuationen der Zahnzeiten auftreten. Hierzu ist in einem Speicher einer elektronischen Steuerungseinrichtung der Brennkraftmaschine ein Adaptionsskennfeld AK festgelegt, in dem für jeden Zahn $1 \dots j \dots Z$ abhängig von fest vorgegebenen Drehzahlbereichen ein Adaptionswert a_{ij} bestimmt werden kann (Fig. 6).

Die normierten Zahnzeitfluktuationen $T_{\text{norm}}(n)$ nach Gleichung 9 werden im Schritt S5 zur Adaption des j-ten Zahnes im i-ten Drehzahlbereich nach folgender Rechenvorschrift verwendet:

$$a_{ij,\text{neu}} = (1 - \alpha) a_{ij,\text{alt}} + \alpha (T_{\text{norm}}(n)) \quad (9a)$$

mit

$a_{ij,\text{alt}}$: alter Adaptionswert

$a_{ij,\text{neu}}$: neuer Adaptionswert

α : Filterfaktor ($0 < \alpha < 1$), der die Adaptiongeschwindigkeit und die Rauschunterdrückung bestimmt.

Die so erhaltenen neuen Adaptionswerte $a_{ij,\text{neu}}$ werden in das Adaptionsskennfeld AK eingetragen, indem die alten Werte $a_{ij,\text{alt}}$ überschrieben werden. Im Schritt S6 wird anschließend überprüft, ob eine vorgebbare Mindestanzahl von Iterationen (z. B. 50) für jeden der Drehzahlbereiche erreicht ist. Liefert diese Abfrage ein negatives Ergebnis, so wird das Verfahren mit dem Schritt S1 fortgesetzt, andernfalls wird im Schritt S7 der Korrekturfaktor γ_j des j-ten Zahnes über alle Drehzahlbereiche nach einer linearen Regressionsformel berechnet:

$$\gamma_j = C_1 \sum_{i=1}^N a_{ij} - C_2 \sum_{i=1}^N \bar{T}_i^2 a_{ij}, \quad j=1 \dots Z \quad (10)$$

mit den vorab bestimmten Gewichtungsfaktoren

$$C_1 = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{T}_i^4}{N \sum_{i=1}^N \bar{T}_i^4 - \left(\sum_{i=1}^N \bar{T}_i^2 \right)^2} \quad \text{und} \quad C_2 = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{T}_i^2}{N \sum_{i=1}^N \bar{T}_i^4 - \left(\sum_{i=1}^N \bar{T}_i^2 \right)^2} \quad (11)$$

Mit dem Korrekturfaktor γ_j werden nach Beendigung der Adaptionsphase im Schritt S8 die Zahnzeiten des j-ten Zahnes nach der Beziehung

$$T_{\text{kor}}(n) = T(n)(1 + \gamma_j) \quad (12)$$

korrigiert.

In Fig. 7 ist in Form eines Ablaufdiagrammes ein weiteres Ausführungsbeispiel für einen Adaptionalgorithmus dargestellt. Hier wird an Stelle der normierten Zahnfluktuationen T_{norm} eine andere Zwischengröße herangezogen. Die beiden ersten Schritte S1 und S2 sind identisch mit den Schritten nach dem Verfahren, wie es anhand der Fig. 5 erläutert wurde.

Zur Unterdrückung des Einflusses von Beschleunigungs- oder Abbremsvorgängen während der Adaptionsphase wird die Differenzengröße

$$T_{\text{diff}}(n) = \frac{T(n) - 2T(n-1) + T(n-2)}{\bar{T}} \quad (13)$$

im Schritt S3 berechnet.

Anschließend wird analog dem Schritt S4 in Fig. 5 der Drehzahlbereich bestimmt. Die Differenzengröße nach Gleichung (13) wird im Schritt S5 zur Adaption der j-ten Zahndifferenz im i-ten Drehzahlbereich nach der Beziehung

$$b_{ij,\text{neu}} = (1 - \alpha) b_{ij,\text{alt}} + \alpha T_{\text{diff}}(n) \quad (14)$$

verwendet.

Mit α ist hierbei α der Filterfaktor analog dem Verfahren nach Fig. 1 bezeichnet. Ist eine Mindestzahl von Iterationen für jeden der Drehzahlbereiche erfüllt (Abfrage in Schritt S6), wird im Schritt S7 nach einer linearen Regressionsformel eine Zwischengröße δ_j für den j-ten Zahn berechnet:

$$\delta_j = C1 \sum_{i=1}^N b_{ij} - C2 \sum_{i=1}^N \bar{T}_i^2 b_{ij} \quad j=1, \dots, Z \quad (15)$$

Die Gewichtungsfaktoren C1 und C2 sind dabei identisch den Faktoren wie sie in Gleichung (11) angegeben sind. Aus diesen Zwischengrößen δ_j erhält man nach zweimaligem Durchführen einer kumulativen Addition Hilfsgrößen ε_j und daraus die Korrekturfaktoren γ_j (Schritt S8):

$$\varepsilon_j^* = \sum_{k=1}^j \delta_k, \quad j=1, \dots, Z \quad (16)$$

$$\varepsilon_j = \varepsilon_j^* - \frac{1}{Z} \sum_{k=1}^Z \varepsilon_k^*, \quad j=1, \dots, Z \quad (17)$$

$$\gamma_j^* = \sum_{k=1}^j \varepsilon_k, \quad j=1, \dots, Z \quad (18)$$

$$\gamma_j = \gamma_j^* - \frac{1}{Z} \sum_{k=1}^Z \gamma_k^*, \quad j=1, \dots, Z \quad (19)$$

Die Berechnungen nach den Gleichungen (17) und (19) gewährleisten, daß die Korrekturfaktoren über eine Umdrehung wieder mittelwertfrei werden.

Im Schritt S9 werden nach Beendigung der Adaptionsphase die Zahnzeiten des j-ten Zahnes analog dem Verfahren nach Fig. 5 nach Gleichung (12) korrigiert.

In Fig. 8 ist das Ergebnis einer Adaption bei Verwendung eines Geberzahnrades mit 58+2 Zähnen, d. h. ein Zahnrad mit 58 Zähnen und einer Lücke von 2 Zähnen zum Bestimmen der absoluten Winkelposition bei Verwendung eines Differenz-Hallsensors als magnetischen Aufnehmer dargestellt. Auf der Abszisse ist der Zahnindex j und auf der Ordinate die adaptierten Korrekturwerte γ_j aufgetragen.

Patentansprüche

1. Adaptionsverfahren zur Korrektur von Toleranzen eines Geberrades, insbesondere eines Kurbelwellengeberrades einer Brennkraftmaschine mit einer Anzahl von Zähnen, deren Abstände zueinander von einem Aufnehmer abgetastet werden und der Aufnehmer eine Pulsfolge liefert, deren zeitlicher Abstand für jeden Zahn oder ein mehrere Zähne umfassendes Segment gemessen und in Betriebszuständen der Schubabschaltung der Brennkraftmaschine korrigiert wird, dadurch gekennzeichnet,

- daß aus den aktuell gemessenen Zahnzeit- bzw. Segmentzeitwerten (T_n) eine mittlere Zahnzeit (\bar{T}) berechnet wird,
- die aktuellen Zahnzeitwerte (T_n) auf die mittlere Zahnzeit (\bar{T}) normiert werden,
- bestimmt wird, in welchem Drehzahlbereich (\bar{T}_i) sich die Brennkraftmaschine befindet,
- abhängig vom ermittelten Drehzahlbereich (\bar{T}_i) für jeden Zahn ($1, \dots, j, \dots, Z$) ein Adaptionsfaktor ($\alpha_{ij,alt}$) festgelegt ist,
- die normierten Zahnzeiten ($T_{norm}(n)$) zur Korrektur des zum j-ten Zahn im i-ten Drehzahlbereich (\bar{T}_i) gehörenden Adaptionsfaktors ($\alpha_{ij,alt}$) herangezogen werden,
- aus den korrigierten Adaptionsfaktoren ($\alpha_{ij,neu}$) ein Korrekturfaktor (γ_j) für jeden Zahn bzw. jedes Segment berechnet und
- zur Korrektur des j-ten Zahnzeitwertes ($T(n)$) herangezogen wird.

2. Adaptionsverfahren zur Korrektur von Toleranzen eines Geberrades, insbesondere eines Kurbelwellengeberrades einer Brennkraftmaschine mit einer Anzahl von Zähnen, deren Abstände zueinander von einem Aufnehmer abgetastet werden und der Aufnehmer eine Pulsfolge liefert, deren zeitlicher Abstand für jeden Zahn oder ein mehrere Zähne umfassendes Segment gemessen und in Betriebszuständen der Schubabschaltung der Brennkraftmaschine korrigiert wird, dadurch gekennzeichnet,

- daß aus den aktuell gemessenen Zahnzeit- bzw. Segmentzeitwerten (T_n) eine mittlere Zahnzeit (\bar{T}) berechnet wird,
- eine Differenzengröße ($T_{diff}(n)$) nach der Beziehung

$$T_{diff}(n) = \frac{T(n) - 2T(n-1) + T(n-2)}{\bar{T}}$$

berechnet wird,

- bestimmt wird, in welchem Drehzahlbereich (\bar{T}_i) sich die Brennkraftmaschine befindet,
- abhängig vom ermittelten Drehzahlbereich (\bar{T}_i) für jeden Zahn ($1, \dots, j, \dots, Z$) ein Adaptionfaktor ($b_{ij,alt}$) festgelegt ist,
- die Differenzengröße ($T_{diff}(n)$) zur Korrektur der j-ten Zahndifferenz im i-ten Drehzahlbereich herangezogen wird,
- aus den korrigierten Adaptionsfaktoren ($b_{ij,neu}$) ein Korrekturfaktor (γ_j) für jeden Zahn bzw. jedes Segment berechnet und
- zur Korrektur des j-ten Zahnzeitwertes ($T(n)$) herangezogen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Drehzahlbereich (\bar{T}_i), in dem sich die Brennkraftmaschine gerade befindet, durch die mittlere Zahnzeit (\bar{T}) festgelegt ist. 10

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die korrigierten Adaptionsfaktoren ($a_{ij,neu}$) nach der Beziehung

$$a_{ij,neu} = (1 - \alpha) a_{ij,alt} + \alpha (T_{norm}(n)) \quad 15$$

berechnet werden, wobei α einen Filterfaktor darstellt, der die Adaptionsgeschwindigkeit und die Rauschunterdrückung bestimmt und für den $0 < \alpha < 1$ gilt.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Korrekturfaktor (γ_j) aus den korrigierten Adaptionsfaktoren ($a_{ij,neu}$) nach der Beziehung 20

$$\gamma_j = C_1 \sum_{i=1}^N a_{ij} - C_2 \sum_{i=1}^N \bar{T}_i^2 a_{ij}, \quad J = 1 \dots Z \quad 25$$

mit den vorab bestimmten Gewichtungsfaktoren

$$C_1 = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{T}_i^4}{N \sum_{i=1}^N \bar{T}_i^4 - \left(\sum_{i=1}^N \bar{T}_i^2 \right)^2} \quad \text{und} \quad C_2 = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{T}_i^2}{N \sum_{i=1}^N \bar{T}_i^4 - \left(\sum_{i=1}^N \bar{T}_i^2 \right)^2} \quad 30$$

berechnet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zahnzeiten ($T(n)$) mit dem Korrekturfaktor (γ_j) nach der Beziehung $T_{kor}(n) = T(n) (1 + \gamma_j)$ korrigiert werden.

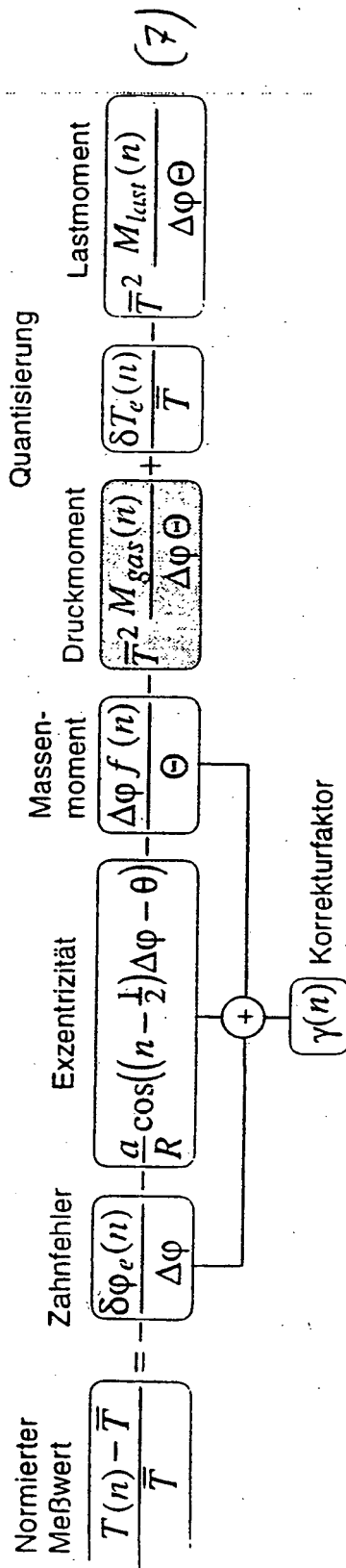
7. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die korrigierten Adaptionsfaktoren ($b_{ij,neu}$) nach der Beziehung 40

$$b_{ij,neu} = (1 - \alpha) b_{ij,alt} + \alpha (T_{norm}(n))$$

berechnet werden, wobei α einen Filterfaktor darstellt, der die Adaptionsgeschwindigkeit und die Rauschunterdrückung bestimmt und für den $0 < \alpha < 1$ gilt. 45

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

Fig 4



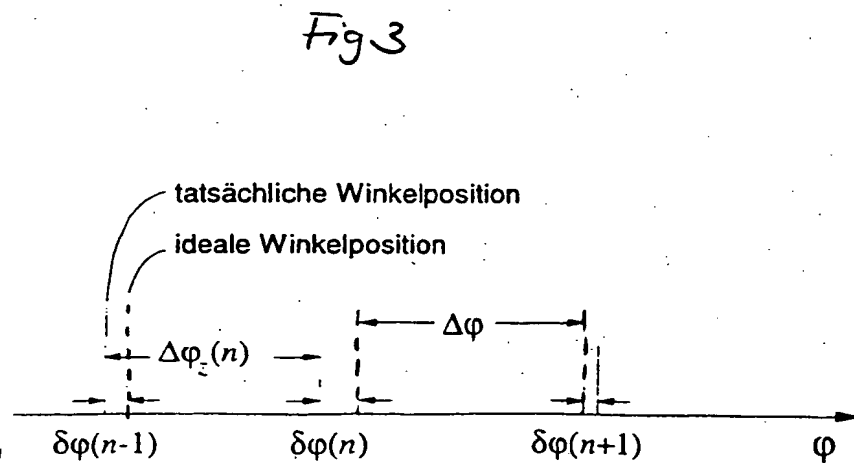
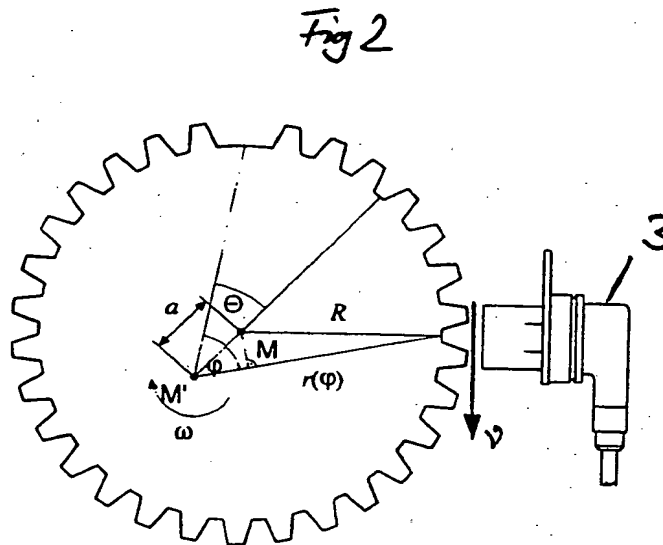
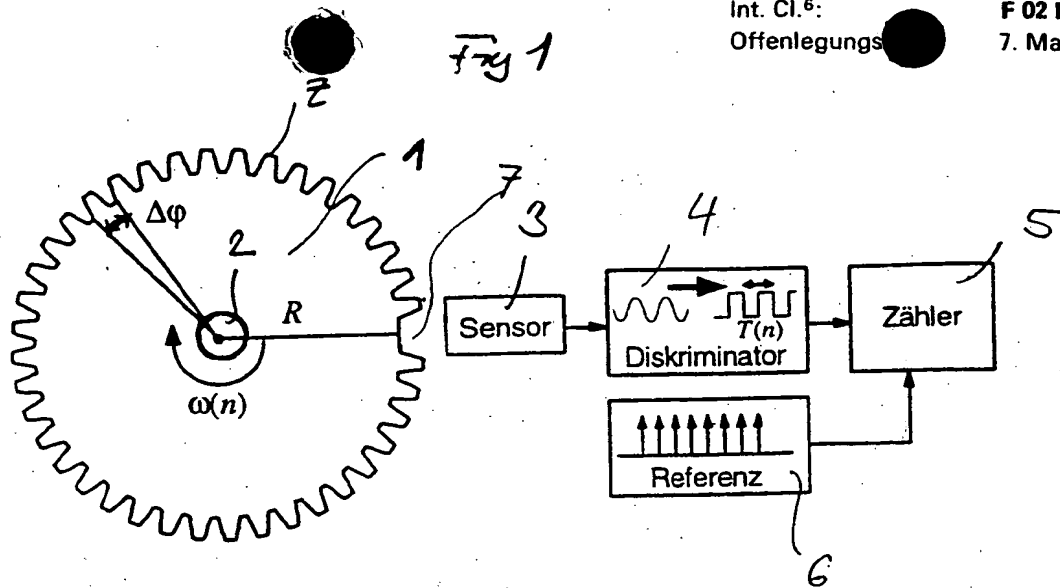
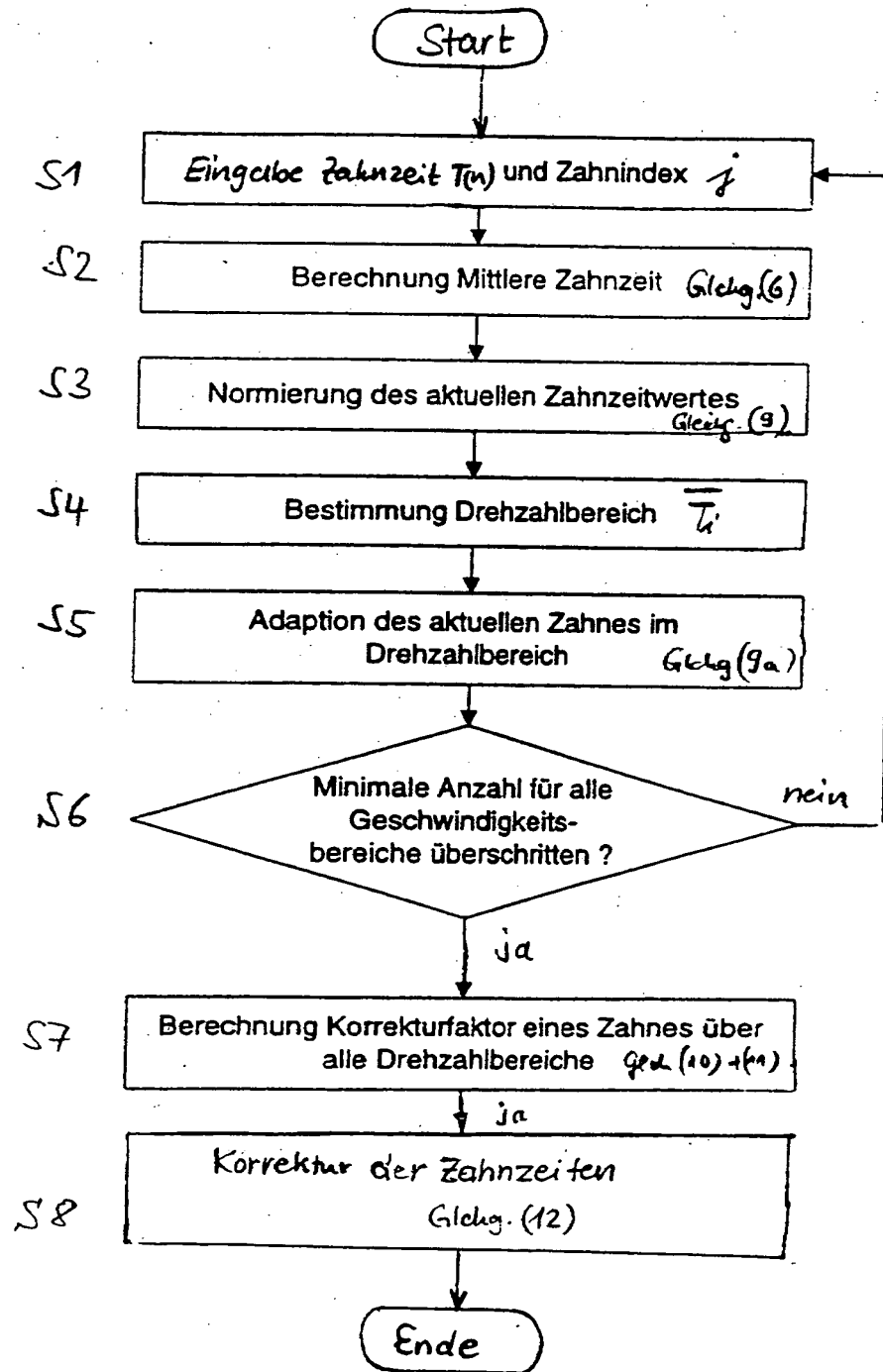


Fig 5



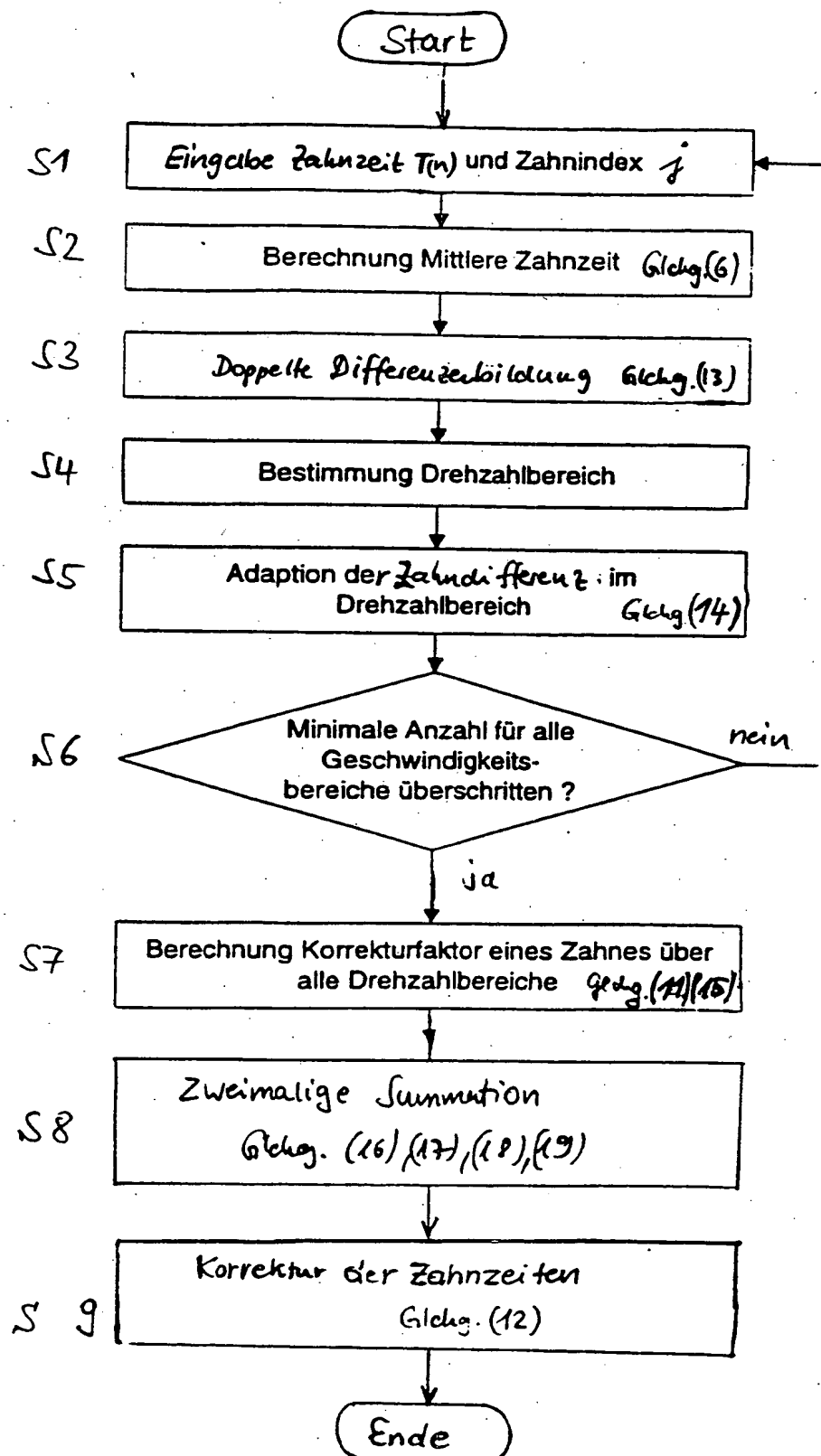
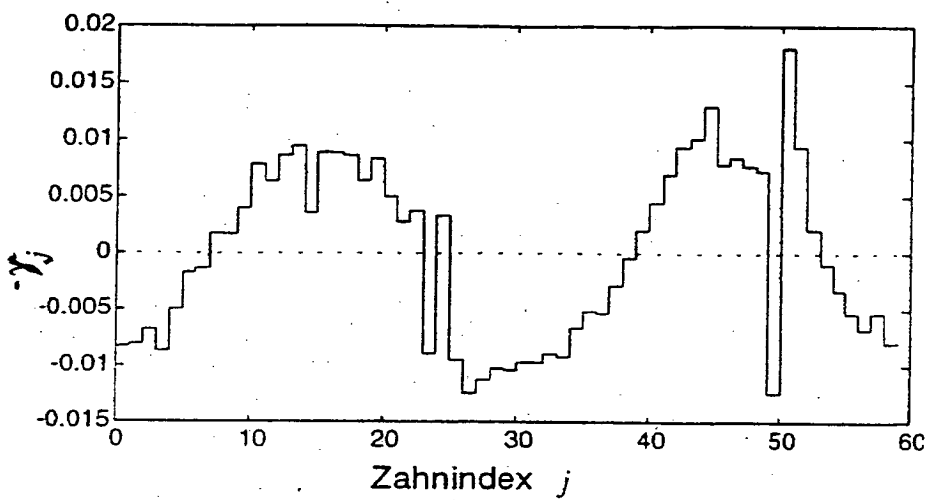


Fig 8



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)